

Le tissu musculaire est composé des fibres musculaires = cellules du muscle, qui sont **excitables** et **contractiles**, leur permettant de développer des forces mécaniques.
Le tissu musculaire dérive essentiellement du **mésoderme** donc de la **cellule souche mésenchymateuse**.

On décrit 3 types de tissus musculaires :

Tissu musculaire	Fonction	Contraction
Strié squelettique	Permet de déplacer le squelette	Volontaire
Strié cardiaque	Assure l'automatisme rythmique du cœur	Involontaire
Lisse	Fonction végétative viscérales	Involontaire

1 - Cellules musculaires dérivant de l'ectoderme :

- **PÉRICYTES** : entourent les capillaires sanguins, permettant de **réguler le débit** du sang en se contractant ou relâchant.
- **CELLULES MYOÉPITHÉLIALES** : présentes au niveau de certains épithéliums glandulaires, se contractent pour **expulser le produit de sécrétion** stocké dans la glande.
- **LES MYOFIBROBLASTES** : jouent un rôle dans la migration de certaines cellules au sein de la matrice extracellulaire, ils produisent également des contractions localisés après migration.

2 - Vocabulaire musculaire :

- **SARCOLEMME** : membrane plasmique.
- **SARCOPLASME** : cytoplasme.
- **RÉTICULUM SARCOPLASMIQUE** : réticulum endoplasmique lisse.

I - FORMATION DU MUSCLE STRIÉE SQUELETTIQUE :



1 - Origine embryologique :

La cellule musculaire dérive en grande majorité de la cellule souche mésenchymateuse qui va donner un progéniteur **multipotent** qui va se différencier en **myoblaste** puis en **cellule musculaire**.

2 - Formation de la cellule musculaire striée squelettique

La **cellule souche mésenchymateuse** qui va donner ce muscle provient de **myotome**.
Elle se différencie en :

- **PRÉCURSEUR** = **myoblaste**
- **PROGÉNITEUR NON DÉTERMINÉS** = **cellules satellites**

1/ Les **myoblastes** se positionnent de manière **linéaire** et les **cellules satellites** se mettent à l'extérieur de la ligne de myoblaste.

2/ L'ensemble est recouvert par une lame basale.

3/ Les myoblastes **fusionnent** et donnent un **myotube** : ensemble multinucléé entouré de cellules satellites.

4/ Les cellules satellites entrent en mitose et une des deux cellules filles va fusionner avec le myotube, permettant sa croissance. Le noyau de la cellule va rejoindre les autres au centre du myotube.

5/ Une fois la taille définitive atteinte, les noyaux sont chassés en périphérie.

6/ Les **cellules satellites servent de stockage** : elles sont indifférenciées et capable de reconstruire une partie du myotube en cas de besoin.

NB : Les cellules satellites sont **entre le sarcolemme** de la fibre musculaire à l'extérieur **et recouverte par la LB**.

À l'origine, chaque myoblaste possède un **réticulum sarcoplasmique**, lors de la fusion de deux myoblastes, il va y avoir invagination du sarcolemme, formant le **tubule T** qui sépare les réticulums et former une triade : Réticulum / Tubule T / Réticulum.

→ Cette triade permet à l'onde de dépolarisation de pénétrer dans le myotube. Lorsque l'onde traverse les réticulums, ceux-ci libèrent du **calcium**, permettant la contraction.

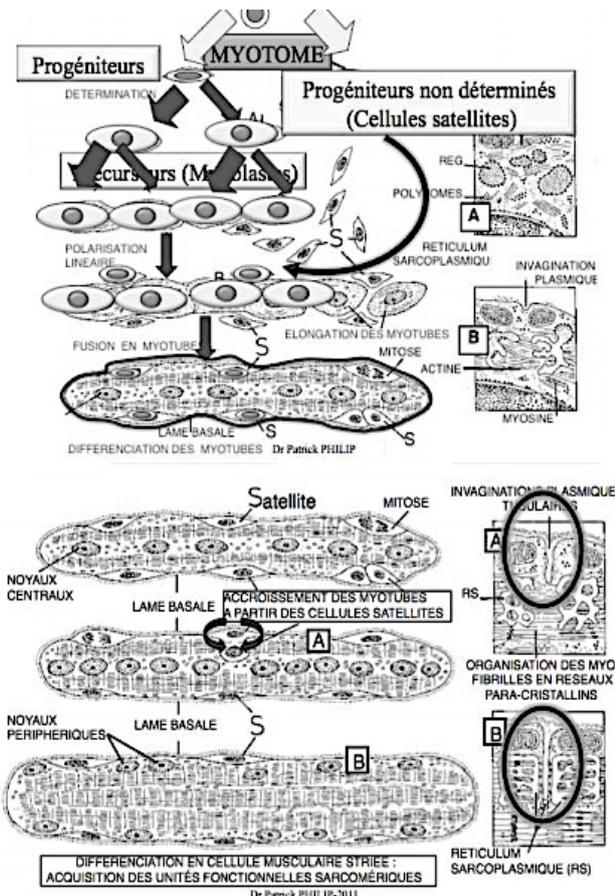
II - LE TISSU MUSCULAIRE STRIÉ SQUELETTIQUE

C'est un **tissu excitable, contractile et élastique**.

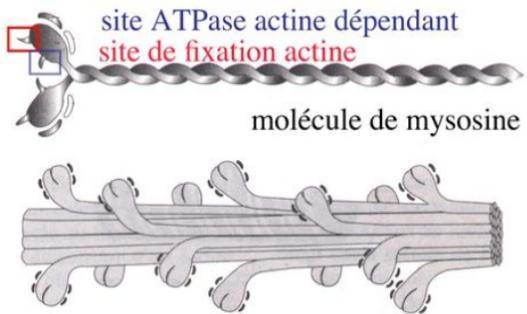
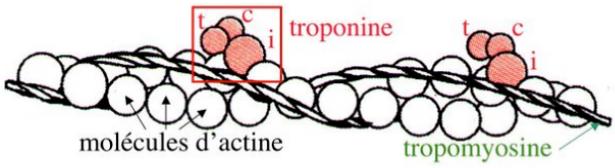
Les muscles squelettiques s'insèrent en général sur les os par l'intermédiaire de tendons.

Le muscle squelettique est un système mécanique possédant 2 composantes majeures :

- **COMPOSANTE CONTRACTILE** : les myofibrilles d'actine et de myosine permettant la contraction
- **COMPOSANTE ÉLASTIQUE ASSOCIÉE** : permettant la **relaxation** des fibres et fournissant une force de rappel lors d'un étirement musculaire. Cette force ne nécessite pas d'énergie métabolique.

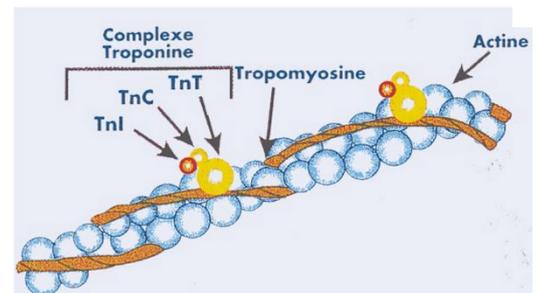


1 - Structure microscopique : 2 structures complémentaires

<p>Les filaments de myosine : filaments épais</p>	<p>Forme une zone composée uniquement de méromyosine légère et une zone très concentrée en têtes S1.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Méromyosine légère : liées entre elles formant la <u>queue de la canne</u>, permettant aux têtes de myosine d'être tête-bêche. - Méromyosine lourde : forme la tête de la canne, composée de : <ul style="list-style-type: none"> - S1 : la tête qui <u>fixe l'actine</u> - S2 : partie qui <u>relie S1 à la méromyosine légère</u>. 	<p>* myofilaments épais</p> 
<p>Les filaments d'actine : filaments fins</p>	<p>L'actine G monomérique se polymérise en actine F.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2 brins d'actine F sont associés à <u>2 filaments de tropomyosine</u> de manière <u>hélicoïdale</u>, constituant le filament d'actine. - la troponine se fixe sur la <u>tropomyosine</u>, elle va <u>masquer les sites de liaison</u> entre l'actine et la tête S1 de la myosine. Elle empêche que la contraction musculaire soit permanente. 	<p>* myofilaments fins</p> 

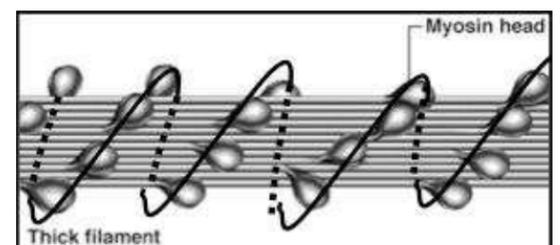
2 - Le complexe troponine présente 3 sous-unités :

- **TROPONINE C** : fixe le calcium, permettant d'initier le changement de conformation libérant les sites de liaison S1/actine.
- **TROPONINE T** : fixe la tropomyosine.
- **TROPONINE I** : inhibe l'interaction actine-myosine, inhibition levée lors de la fixation de calcium sur la troponine C.



Les têtes de myosine (S1) sont disposées de manière hélicoïdale pour avancer comme dans un pas de vis.

NB : Un filament de **myosine** ne se fixe pas sur un unique filament d'actine mais chaque **filament de myosine** est **entouré de 6 filaments d'actine** à 360° autour de la myosine.

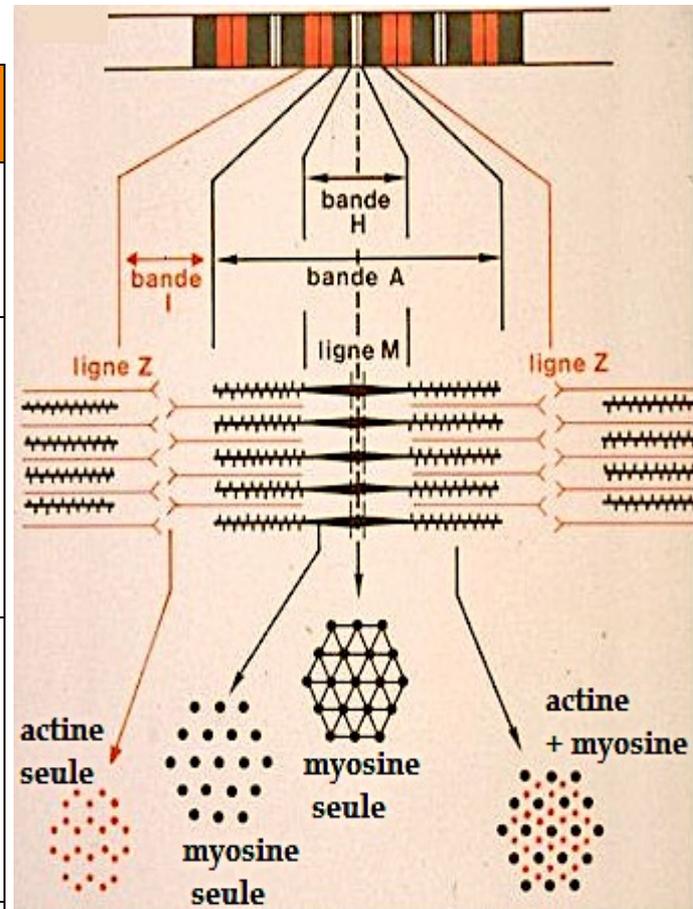


La tête de myosine se fixe sur l'actine et l'angle entre la tête S1 et S2 se réduit, permettant de resserrer la structure. La structure cristalline du sarcomère permet un glissement parfait des filaments de myosine sur les filaments d'actine.

NB : Tous les filaments sont **parallèles** entre eux.

3- Les bandes du sarcomère

Bande/strie	Définition/localisation
Strie Z	Relie les filaments d'actine. Délimite le sarcomère : il est <u>compris entre 2 stries Z</u> .
Bande I	Zone autour de la strie Z où on retrouve <u>exclusivement de l'actine</u> . Chaque sarcomère possède deux demi-bandes I . Rétrécis pendant la contraction. → Chaque filament d'actine est entouré de 3 autres actines .
Bande A	Zone constituée par toute la longueur des filaments de myosine . Ne rétrécis pas pendant la contraction car prend en compte aussi une portion d'actine. → Au niveau de la <u>zone actine + myosine</u> : - chaque myosine est entouré de 6 actines - chaque actine est entouré de 3 myosines
Bande H	Zone au centre de la bande A , constituée uniquement par les <u>méromyosines légères</u> (pas les têtes S2) → Chaque myosine est entourée de 6 myosines .
Bande M	Au centre de la bande H , correspond aux <u>microfibrilles</u> reliant les extrémités des filaments de <u>myosine</u> entre eux.



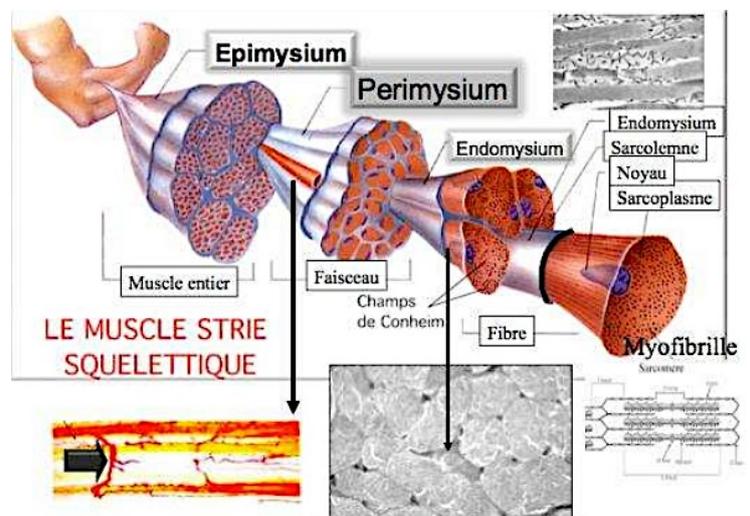
4 - Les emballages musculaires du plus petit au plus gros :

1/ Plusieurs **sarcomères** mis **bout à bout** forment un **champ de Conheim** : les noyaux et réticulum sarcoplasmiques en périphérie. Les cellules satellites sont à l'extérieur du sarcolemme.

2 / L'**endomysium** = **membrane basale**, entoure les champs de Conheim et les cellules satellites. Chaque fibre musculaire est recouverte par son endomysium.

3/ Un rassemblement de fibres musculaires forment un faisceau, lui-même recouvert d'une gaine conjonctive : le **périmysium** dans lequel vont **passer les vaisseaux et les nerfs**.

4/ Un ensemble de faisceaux forment un muscle entier, lui-même **recouvert d'épimysium**.



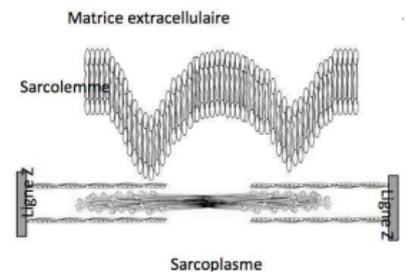
Epi > Péri > Endo

Les fibres musculaires squelettiques et cardiaques sont striées à cause de leur aspect en microscopie : elle présente une **striation transversale**, il y a une alternance de :

- **RÉGIONS CLAIRES** : bandes I
- **RÉGIONS SOMBRES** : bandes A

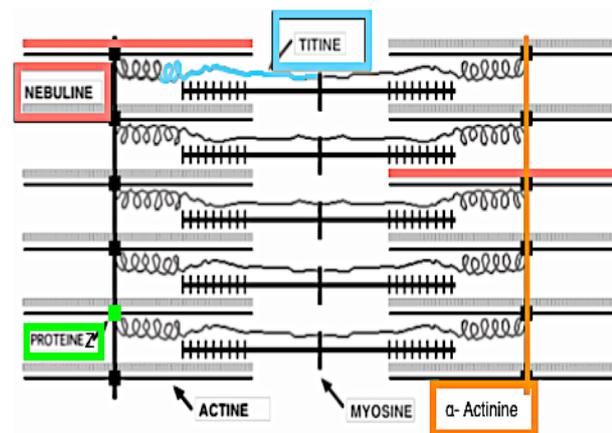
IMPORTANT : Dans le tissu musculaire strié squelettique, les **triades** se situent exactement à la **jonction** entre les **bandes A** et les **bandes I**, en effet, ce sont les triades qui permettent la propagation de l'onde de dépolarisation.

→ Lors de la **contraction**, les fibres de **myosines** se rapprochent de la **strie Z**, la **bande H disparaît** au maximum de la contraction.



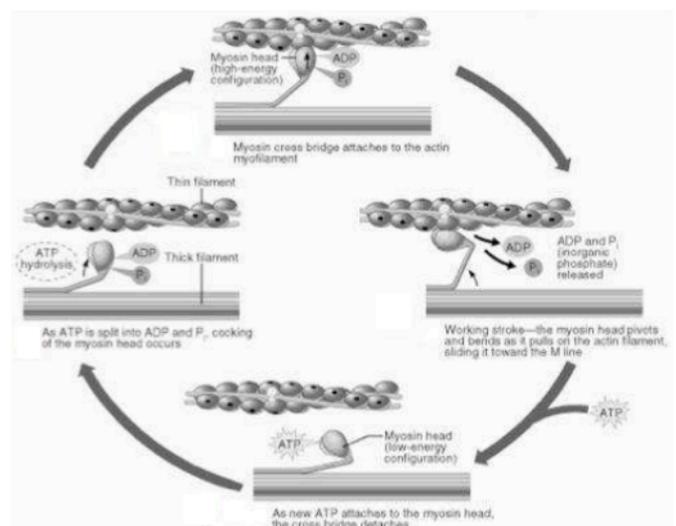
5 - Les autres protéines du muscle

Titine	Permet le centrage des filaments d'actine et de myosine. Rôle d'élasticité de la fibre comme un ressort de décompression. Elle relie le filament de myosine à la strie Z.
Nébuline	Plaquée contre le filament d'actine. Elle s'insère sur la strie Z et conditionne la longueur de l'assemblage de l'actine F.
Protéine Z	Relie l'actine à la strie Z et empêche la dépolymérisation de l'actine F à son extrémité.
Alpha-actinine	Protéine constitutive de la strie Z.



III - LES ÉTAPES DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE :

- 1/ **Création de l'onde** de dépolarisation venant du système nerveux.
 - 2/ **Propagation** de l'onde sur la membrane et le tubule T en contact des réticulums sarcoplasmique.
 - 3/ **Libération de calcium** dans le cytosol à partir du RS.
 - 4/ Le **calcium** se fixe sur la **troponine C**.
 - 5/ **Rupture** de la liaison **troponine I/ actine**.
 - 6/ **Déplacement** de la molécule de **tropomyosine**.
 - 7/ **Libération** des sites de liaison **myosine/actine**.
 - 8/ **Fixation** de la **myosine** sur l'**actine**.
 - 9/ **Activation de l'ATPase** de la myosine.
 - 10/ **Hydrolyse** de l'ATP en ADP+Pi.
 - 11/ **Changement de conformation** de la tête de myosine.
 - 12/ **Déplacement** du filament de myosine sur le filament d'actine
- Contraction !



(Vidéo explicative : <https://www.youtube.com/watch?v=e3Nq-P1ww5E>)

IMPORTANT : Les têtes de **myosine agissent les unes après les autres** et non pas toutes en même temps. Elles **agissent à 360°** autour de la fibre de myosine et non pas sur une seule fibre d'actine.

→ Le mécanisme de **contraction** se répète extrêmement rapidement entraînant une très **grande consommation d'ATP**, ce qui fait du muscle le principal organe de la consommation calorique et de la thermogénèse.

Il existe 2 types de fibres musculaires squelettiques définies en fonction de leur manière de production d'ATP :

Fibre de type 1 = fibres rouges	- Essentiellement aérobies : fonctionnent en <u>présence d'oxygène</u> . - Contraction lente et plus prolongées , elles se fatiguent plutôt lentement .
Fibre de type 2 = fibres blanches	- Essentiellement anaérobies : fonctionnent en <u>absence d'oxygène</u> . - Contraction très rapide et se fatiguent très vite .

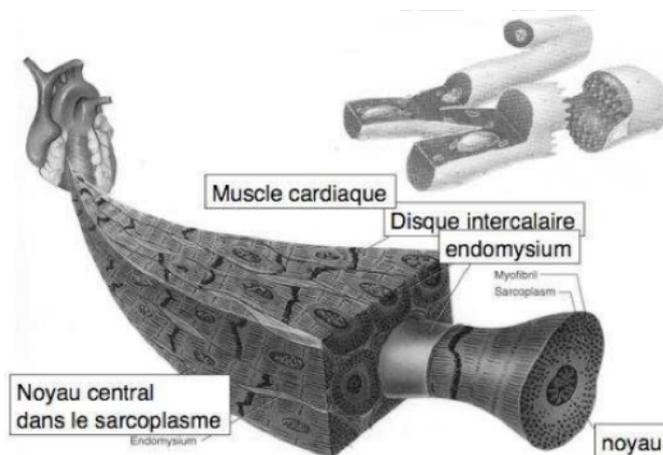
NB : Avec l'âge, les fibres de type 2 diminuent au profit des fibres de type 1, les performances rapides diminuent. (*Ce n'est pas une métaplasie*).

IV - LE TISSU MUSCULAIRE STRIÉ CARDIAQUE

Caractérisé par un **noyau au centre de la cellule** et **unique**, chaque cellule est entourée par une membrane basale appelée l'endomysium (*comme pour le strié squelettique*).

Les cellules musculaires communiquent par gap junctions et sont liées par jonctions très solides (*desmosomes, tights junctions et stries scalariformes*) :

- Assure le **synchronisme de la contraction cardiaque**.
- Permet de **résister à la force très importante** de la contraction.



V - LES DIFFÉRENCES PRINCIPALES ENTRE LE MUSCLE CARDIAQUE ET LE MUSCLE SQUELETTIQUE :

- Les cellules du muscle **cardiaque** sont beaucoup **plus courtes** car elles sont **mononuclées** avec un **noyau central**.

- **Entre chaque cellule**, on va trouver les **stries scalariformes** (*interdigitations*) dans lesquelles se trouvent :

- des gaps junctions : permet un couplage électrique et chimique des cellules du muscles cardiaques
- des jonctions adhérentes (*desmosomes*)

- Il n'y a **pas de cellules satellites** en périphérie sous l'endomysium : la **régénération** du tissu musculaire cardiaque est très **difficile voir impossible**.

- Il existe un **tissu nerveux spécialisé** : le système **cardionecteur** qui permet la contraction automatique et rythmique du cœur.

- Les cellules ne possèdent **d'un seul réticulum sarcoplasmique**, il y a donc des **DIADES** qui sont situées au niveau des **striés Z** (contrairement au tissu musculaire strié squelettique où les triades sont à la jonction A/I).

NB : Il peut y avoir plusieurs diades par cellule cardiaque.

La **contraction** du muscle cardiaque est globalement identique à celle du muscle strié squelettique. Elle est contrôlée par la concentration de calcium. Il y a un **effet seuil** de concentration en calcium au-delà duquel les cellules se contractent.

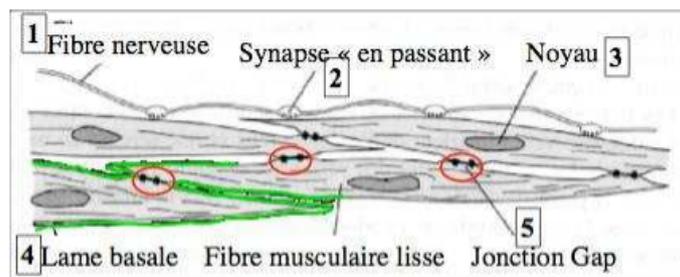
VI - LE TISSU MUSCULAIRE LISSE

Les cellules musculaires lisses fournissent **des contractions lentes et soutenues** qui ne sont **pas sous le contrôle de la volonté**. Elles sont essentiellement présentes dans le tube digestif, la vessie, l'utérus, la paroi des vaisseaux sanguins et les canaux excréteurs des glandes.

1 - Caractéristiques des cellules musculaires lisses :

- **Fusifformes**
- Toutes **reliées** les unes aux autres par des **gap-jonctions** : assurent un couplage électrique des cellules
- Le **noyau est central**
- Les cellules sont **séparées par une membrane basale** qui saute de cellule en cellule au niveau des gap jonctions
- Les cellules sont maintenues en **faisceaux** par de minces couches de tissu collagénique contenant des vaisseaux et des nerfs.
- Les **myofibrilles ne sont pas organisées en sarcomères**.

NB : Une **même fibre nerveuse** va rebondir et **innervé plusieurs cellules** (différemment du muscle strié squelettique où une fibre nerveuse innerve une unique fibre musculaire).



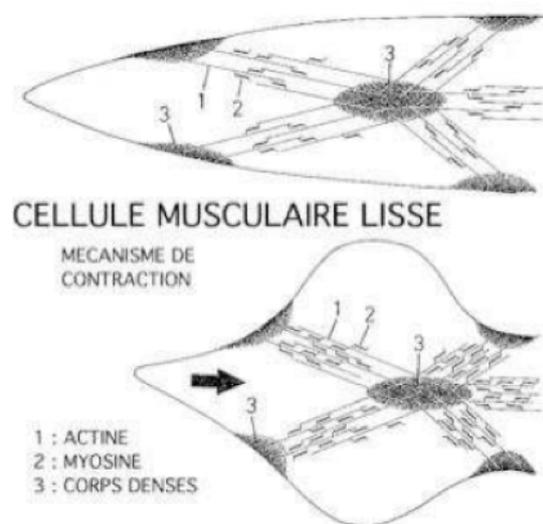
Les faisceaux **d'actine** et de **myosine** vont se croiser et **s'insérer sur des corps denses** dispersés un peu partout sur le sarcolemme et dans le sarcoplasme.

Les filaments sont tendus de corps dense à corps dense et ce mécanisme permet une déformation de la cellule en 3 dimensions (contrairement à la déformation linéaire dans le tissu musculaire squelettique).

Lors de la contraction, le sarcolemme va être déformé et entraîne une déformation des cellules adjacentes.

NB : Il ne peut donc pas y avoir une contraction isolée d'une seule cellule musculaire lisse.

→ Tous les **organites** cellulaires sont regroupés autour du noyau central, dans une **zone dépourvue de filaments**.



La **cellule musculaire lisse** ne possède **pas de triade** comme la cellule musculaire striée mais elle possède de nombreuses petites invaginations de son sarcolemme appelées **caveolae** et qui fonctionnent comme les triades du muscle squelettique.

2 - Contraction du muscle lisse :

Les cellules du muscle lisse ne se contractent pas une par une mais elles vont **se contracter en masse** puisqu'elles sont reliées par gap junctions.

CARACTÉRISTIQUES PARTICULIÈRES :

- La contraction se fait en **3 dimensions**
- La cellule du muscle lisse peut considérablement **plus se raccourcir** par rapport au muscle strié squelettique.
- Les **forces** produites par le muscle lisse sont bien **moins importantes** que celles produites par le muscle strié squelettique.
- La **contraction est beaucoup plus soutenue**.

VII - LA RÉGÉNÉRATION DU MUSCLE STRIÉ SQUELETTIQUE :

Les fibres musculaires **peuvent régénérer** à condition que la **membrane basale** soit **intacte** et que l'écart entre les 2 parties intactes de la fibre ne soient pas trop grand.

1 - Régénération continue

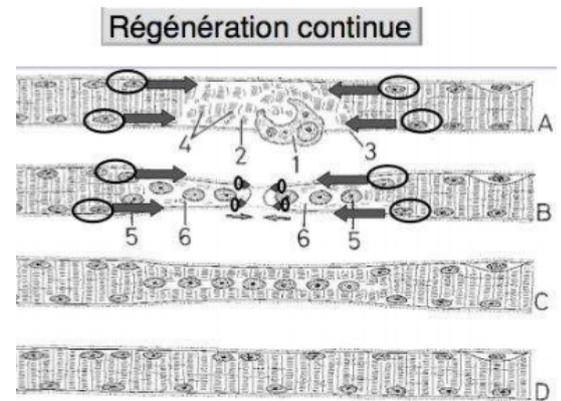
En cas de **dégâts légers**

1/ Les **macrophages pénètrent** dans la zone lésée pour la débarrasser des débris.

2/ Les **noyaux** des parties intactes se positionnent en ligne **au milieu** de la fibre.

3/ Les **noyaux produisent des fibres d'actine et de myosine** puis se replacent en périphérie.

NB : Cette régénération se passe en permanence.



2 - Régénération discontinue

En cas de **dégâts importantes**

1/ **Nettoyage des macrophages**

2/ Les **cellules satellites** commencent à se **diviser** et à progresser vers la zone lésée

3/ Les cellules satellites se disposent en ligne, **fusionnent** et **synthétisent les myofibrilles** donnant des sarcomères.

4/ Les **noyaux** sont repoussés en **périphérie**.

NB : Ce type de régénération retrace toutes les étapes de l'histogenèse.

